

**Production of liquid metal in electric furnace comprises adjusting quantities of metal material, electrical energy, oxygen-containing gas and fuel provided to obtain desired final temperature and/or composition**

Patent number: FR2838508

Publication date: 2003-10-17

Inventor: ALLEMAND BRUNO; MAJJAD RACHID

Applicant: AIR LIQUIDE (FR)

Classification:

- international: C21C5/52; F27B3/28; F27B3/08; F27D19/00;  
C21C5/00; F27B3/10; F27B3/08; F27D19/00; (IPC1-7):  
F27B3/28; C21C5/52; F27B3/08

- european: C21C5/52B2; F27B3/28

Application number: FR20020004683 20020415

Priority number(s): FR20020004683 20020415

Also published as:

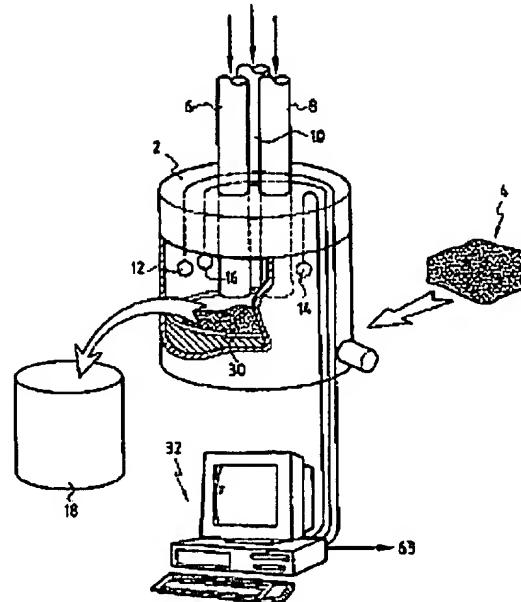
WO03087688 (A1)

AU2003249144 (A1)

[Report a data error here](#)

**Abstract of FR2838508**

The production of a liquid metal in an electric furnace comprises: (a) measuring, during casting, the weight of metallic material added, the volume of gas containing oxygen provided, the amount of electrical energy provided and possibly the amount of fuel provided; (b) comparing these measured values with the parameters from a reference cast for which the final temperature and composition are known; and (c) calculating the quantity of electrical energy and/or the quantity of fuel and/or the quantity of oxygen containing gas to be provided to the furnace to obtain the final temperature and/or final composition desired. Independent claims are also included for the following: (a) a device for controlling a molten metal cast in an electric furnace by the above process; and (b) the utilization of the above process or device in an electric melting furnace.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

(11) N° de publication : 2 838 508  
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)  
(21) N° d'enregistrement national : 02 04683  
(51) Int Cl<sup>7</sup> : F 27 B 3/28, F 27 B 3/08, C 21 C 5/52

(12)

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 15.04.02.

(30) Priorité :

(71) Demandeur(s) : L'AIR LIQUIDE SOCIETE ANONYME  
POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCE-  
DES GEORGES CLAUDE — FR.

(43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 17.10.03 Bulletin 03/42.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : Se reporter à la fin du présent fascicule

(60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

(72) Inventeur(s) : ALLEMAND BRUNO et MAJJAD RACHID.

(73) Titulaire(s) :

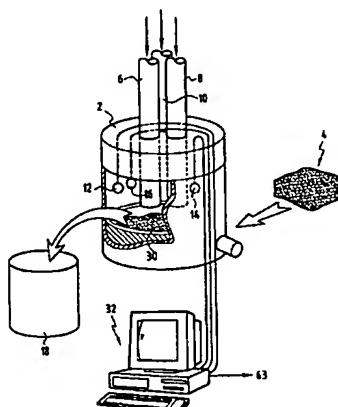
(74) Mandataire(s) :

### (54) PROCEDE DE PRODUCTION DE METAL LIQUIDE DANS UN FOUR ELECTRIQUE.

(57) L'invention concerne un procédé de production de métal liquide dans un four électrique, dans lequel on apporte de la matière métallique, de l'énergie électrique, un gaz contenant de l'oxygène et éventuellement un combustible, dans le but de contrôler une température finale et/ou une composition finale du métal liquide.

Il permet de :

- mesurer en cours de coulée la valeur d'au moins les trois paramètres suivants: le poids de matière métallique apportée, le volume apporté de gaz contenant de l'oxygène, la quantité d'énergie électrique apportée et éventuellement la quantité de combustible apportée;
- comparer ces valeurs mesurées aux valeurs de ces mêmes paramètres d'une coulée dite coulée de référence dont la température finale et la composition finale sont connues;
- calculer la quantité d'énergie électrique et/ou la quantité de combustible et/ou la quantité de gaz contenant de l'oxygène à apporter au four pour obtenir la température finale et/ou la composition finale.



FR 2 838 508 - A1



Procédé de production de métal liquide dans un four électrique

L'invention concerne le domaine des fours et de leur régulation, notamment ceux utilisés dans la production de métaux à l'aide d'un processus de fusion.

5       Elle se rapporte plus particulièrement à un procédé de production de métal liquide dans un four électrique, dans lequel on apporte de la matière métallique, de l'énergie électrique, un gaz contenant de l'oxygène et éventuellement un combustible, dans le but de contrôler une température finale et/ou une composition finale du métal liquide.

10      Elle se rapporte également aux dispositifs de mise en œuvre de ce procédé de contrôle.

Un tel four est par exemple un four électrique à arc, utilisé dans la production de l'acier.

15      L'objectif d'un four à arc est de produire du métal, et notamment de l'acier à partir de matières ferreuses, à la température et à la nuance (composition chimique) voulues par l'utilisateur.

20      Cette température et cette composition du bain métallique sont stipulées pour la nuance à réaliser et en fonction du ou des traitements qui seront effectués en aval. La réalisation de la fusion du métal puis de la modification de la composition du métal liquide s'appelle une « coulée ».

La coulée se déroule en 2 étapes majeures que l'on peut résumer ainsi :

- il y a d'abord fusion des matières ferreuses (chargées suivant différents modes : un ou plusieurs paniers, chargement en continu, ou chargement mixte) pour les amener de l'état solide à l'état liquide,
- il y a ensuite élaboration de la coulée pour porter le bain métallique liquide à la température et à la composition souhaitées.

30      Dans le four à arc, des dispersions se produisent au cours de l'évolution du procédé pour différentes coulées, du fait de l'évolution des compositions des ferrailles, et/ou des dérives de pesages, et/ou de l'évolution de l'état des surfaces réfractaires du four. Tout ceci conduit à des erreurs en fin de coulée. Après mesure de la température et de l'oxygène dissous du bain, et prélèvement d'un échantillon, une correction est donc très fréquemment effectuée, en ajoutant du carbone, et/ou de l'oxygène et/ou de l'électricité.

Cette correction est fonction des analyses réalisées et de l'écart par rapport à la température et à la composition souhaitées.

Les méthodes de correction connues et employées sur les fours à arc peuvent se regrouper en 2 catégories : les modèles physiques et les 5 modèles statistiques, qui ont chacun leurs avantages et inconvénients.

Cependant ces méthodes ont en commun de ne pas résoudre le problème des erreurs de prédiction, à cause de leur mauvaise appréhension des phénomènes non mesurables ou non quantifiables, tels que les erreurs de pesage, ou l'énergie absorbée par les réfractaires, ou 10 la dispersion dans la composition des ferrailles....

Les modèles physiques sont basés sur la thermodynamique et la chimie. Ils calculent toutes les réactions chimiques et tous les échanges thermiques dans le four.

De nombreuses données sont inconnues et sont donc estimées.

15 Un inconvénient de ces méthodes est qu'une erreur sur un paramètre affecte l'ensemble du modèle.

On peut prendre l'exemple de la composition d'un type de ferrailles, dans lequel le silicium est considéré à une teneur de 0.3%, alors qu'en réalité il est de 0.5%. Tout le poids de cette catégorie de ferrailles est 20 affecté de l'erreur. Ainsi, si 20 tonnes de ce type de ferrailles sont chargées, le modèle considérera que 60 kg de silicium (0.3% \* 20 tonnes) ont été apportés par ce type de ferrailles, alors qu'il y en aura, en réalité 100 kg (0.5% \* 20 tonnes).

Cet exemple peut se répéter pour toutes les matières ou fluides 25 introduits dans le four, et pour tout type d'erreur (pesage, débit, composition, humidité...)

De plus, ces modèles sont statiques, et non pas dynamiques, bien que des modules de correction soient parfois prévus, en fonction des résultats obtenus.

30 Enfin, ce type de modèles nécessite une capacité et un temps de calcul considérables, du fait des équations itératives utilisées.

Les modèles statistiques sont, eux, basés sur des études statistiques de l'influence de certains paramètres sur le résultat final.

Généralement, ne sont pris en compte que les « grands » paramètres 35 tels que les poids de matières premières (par exemple : ferrailles, DRI, chaux, dolomie....).

Un autre inconvénient de ces méthodes consiste en leur mauvaise connaissance de l'état réel des paramètres, et des évolutions continues de l'état du four (pied de bain, usure réfractaire, attentes...) et des résultats obtenus.

5 De même que pour les modèles physiques, ces modèles sont statiques ou semi-statiques (si des moyennes hebdomadaires ou mensuelles sont réalisées), et non pas dynamiques.

Une combinaison de la modélisation physique et de la modélisation statistique est parfois employée, afin de limiter les inconvénients de 10 chaque type de modélisation, et d'en combiner les avantages.

15 Un inconvénient de ces méthodes est la non-prise en compte des événements et résultats obtenus sur le four. L'état du four et les phénomènes non quantifiables sont estimés, mais leurs variations continues et progressives ne sont pas prises en compte pour le résultat final.

Il se pose donc le problème de trouver un procédé et un dispositif pour réussir une température et une composition cibles ou souhaitées du bain, et en réduisant les erreurs inhérentes au procédé d'obtention d'une coulée.

20 Le procédé selon l'invention permet d'éviter les inconvénients de l'art antérieur. Il est caractérisé en ce que :

- on mesure en cours de coulée la valeur d'au moins les trois paramètres suivants : le poids de matière métallique apportée, le volume apporté de gaz contenant de l'oxygène, la quantité d'énergie électrique 25 apportée et éventuellement la quantité de combustible apportée ;

- on compare ces valeurs mesurées aux valeurs de ces mêmes paramètres d'une coulée dite coulée de référence dont la température finale et la composition finale sont connues ;

- on calcule la quantité d'énergie électrique et/ou la quantité de 30 combustible et/ou la quantité de gaz contenant de l'oxygène à apporter au four pour obtenir la température finale et/ou la composition finale.

Du fait de la référence à une coulée de référence, les données non quantifiables avec exactitude, telles que par exemple l'énergie absorbée par les réfractaires, les rendements des transferts énergétiques des 35 réactions chimiques, les pertes thermiques dans les fumées, sont prises en compte sans qu'il soit nécessaire de les mesurer.

En outre, l'ensemble des données ou des paramètres mesurés sont comparés aux valeurs correspondantes pour une autre coulée. C'est donc sur la base de ces écarts entre les valeurs mesurées et les valeurs de référence que sont effectuées les corrections, réduisant ainsi les 5 dispersions sur les calculs.

Selon un mode préférentiel de réalisation de l'invention, l'un au moins des paramètres de la coulée dite de référence est obtenu à partir des valeurs de ce même paramètre mesuré sur au moins une coulée antérieure sur le même four.

10 En général, l'un au moins des paramètres de la coulée de référence est obtenu par calcul d'une moyenne pondérée des valeurs de ce même paramètre déjà mesurées sur plusieurs coulées, tandis que, par exemple, la moyenne pondérée est une moyenne de valeurs mesurées sur un nombre de coulées compris entre 1 et 500, de préférence entre 5 et 50.

15 De préférence, les coulées utilisées pour établir la moyenne pondérée sont essentiellement parmi les dernières coulées réalisées dans le four.

D'une manière générale, les poids de la pondération sont calculés selon une loi normale ou linéaire ou polynomiale.

20 Mais il est également possible que la moyenne résulte d'une pondération selon des poids croissants dans le temps.

De préférence, la valeur d'au moins un paramètre de la coulée de référence est recalculée après mesure de la valeur de ce paramètre pour la coulée de fusion métallique qui vient de s'achever, par remplacement 25 d'une des valeurs déjà mesurées sur une des coulées antérieures par ladite valeur mesurée.

En général, la valeur remplacée est la valeur mesurée la plus ancienne.

30 Parmi les paramètres mesurés, on mesure au moins un des paramètres suivants : le débit et la température d'un fluide de refroidissement du four, et/ou les données temporelles d'arrêts du four et/ou les données temporelles d'attentes du four et/ou les données temporelles de dysfonctionnement, et/ou la pression dans le four, et/ou l'analyse des fumées, et/ou les débits des différentes matières introduites 35 dans le four, les valeurs mesurées de ces paramètres étant également

prises en compte dans la détermination des paramètres de la coulée de référence.

De préférence, outre une mesure en fin de coulée de l'un des paramètres, on réalisera également une mesure intermédiaire de ce 5 paramètre.

Dans ce cas, la mesure intermédiaire en cours de coulée est effectuée à un instant compris dans la plage temporelle limitée par les instants entre 30 % et 100 %, de préférence entre 80 % et 95 % ou encore plus préférentiellement entre 90 % et 95 % de l'énergie électrique de la 10 coulée de référence ont été consommées.

Selon différentes variantes de l'invention, seules ou en combinaison, le procédé pourra comporter la mesure, en fin de coulée, de la température et de la composition de la coulée ; il pourra également comporter la mesure, en fin de coulée, de la composition en carbone dans 15 la coulée, et/ou de l'oxygène dissous dans la coulée, et/ou du poids d'acier dans la coulée et/ou du nombre de coulées déjà réalisées dans le four ; il pourra aussi comporter une étape de conversion en énergie et/ou en oxygène des écarts détectés entre les paramètres de la coulée contrôlée et les paramètres de la coulée de référence.

20 La mesure en cours de coulée est par exemple effectuée à un instant pour lequel entre 50% et 95%, de préférence entre 80% et 95% et plus préférentiellement entre 90% et 95% de l'énergie électrique de la coulée de référence a été consommée.

En fin de coulée, peuvent être en outre mesurés la température du 25 bain et/ou la composition en carbone dans l'acier, et/ou la quantité d'oxygène dissous, et/ou le poids d'acier dans le bain et/ou le nombre de coulées déjà réalisées dans le four.

Les valeurs des paramètre du bain ou de la coulée de référence peuvent être obtenues par calcul d'une moyenne pondérée des valeurs de 30 ce même paramètre déjà mesurées sur plusieurs bains.

Ainsi les dérives des mesures sont prises en compte dans la coulée de référence grâce au « lissage » résultant de ces calculs, sans qu'il soit nécessaire de connaître l'origine de ces dérives.

La moyenne pondérée peut résulter d'une pondération selon des 35 poids croissants dans le temps, ou bien les poids de la pondération peuvent être calculés selon une loi normale ou linéaire ou polynomiale, ou

bien encore la moyenne pondérée peut être une moyenne de valeurs mesurées sur un nombre de bains compris entre 1 et 500, ou entre 5 et 50.

5 Ces différentes pondérations possibles permettent de s'adapter aux différentes conditions de fonctionnement du four.

De plus, la définition de la coulée de référence s'applique aux différents types de procédés (stables ou instables), grâce au nombre de coulées mises en référence dans la moyenne pondérée et aux coefficients pondérateurs.

10 La valeur, obtenue par moyenne pondérée, d'au moins un des paramètre du bain de référence, peut être recalculée après mesure de la valeur de ce paramètre pour le bain de fusion métallique contrôlé, par remplacement d'une des valeurs déjà mesurées sur plusieurs bains par ladite valeur mesurée.

15 La valeur remplacée est de préférence la valeur mesurée la plus ancienne. La coulée de référence est ainsi recalibrée et auto-adaptée en dynamique, sans besoin d'aide externe, et notamment sans besoin d'un opérateur.

20 D'une manière générale, l'invention concerne donc un procédé de contrôle permettant de prédire les évolutions réelles du procédé, et de caractériser leurs influences sur le résultat final, et ainsi de réussir la cible visée en termes de température et de composition du bain métallique.

25 L'invention concerne également un dispositif pour contrôler une coulée de fusion métallique dans un four électrique dans lequel des matières métalliques sont introduites, ainsi que des gaz dont l'un au moins contient de l'oxygène, caractérisé en ce qu'il comporte :

30 - des moyens pour mesurer, en cours de coulée, la valeur d'au moins les trois paramètres suivants : le poids de matière métallique enfournée, le volume des gaz introduits, la quantité d'électricité fournie au four, et éventuellement la quantité de combustible apportée ;

35 - des moyens pour comparer ces valeurs mesurées aux valeurs de ces mêmes paramètres d'une coulée dite coulée de référence, dont la température et la composition finale sont connues,

- des moyens pour corriger l'alimentation de la coulée en énergie électrique et/ou en combustible et/ou en gaz contenant de l'oxygène, si les deux valeurs d'au moins un de ces paramètres diffèrent.

Des moyens peuvent en outre être prévus pour mesurer, en cours de coulée, la valeur d'au moins un des paramètres suivants : le débit et la température d'un fluide de refroidissement du four, et/ou les données temporelles d'arrêts du four et/ou les données temporelles d'attentes du 5 four et/ou les données temporelles de dysfonctionnements, et/ou la pression dans le four, et/ou l'analyse des fumées, et/ou les débits des différentes matières introduites dans le four.

Des moyens de mesure peuvent en outre être prévus pour mesurer, en fin de coulée, la température du bain et/ou la composition en carbone 10 dans l'acier, et/ou l'oxygène dissous, et/ou le poids d'acier dans le bain et/ou le nombre de coulées déjà réalisées dans le four.

Par ailleurs des moyens spécifiques sont prévus ou programmés pour effectuer un calcul d'une moyenne pondérée des valeurs d'au moins un paramètre déjà mesurées sur plusieurs bains ou encore éventuellement 15 pour recalculer la valeur d'au moins un paramètre d'un bain de référence, après mesure de la valeur de ce même paramètre pour le bain de fusion métallique, et après remplacement d'une des valeurs déjà mesurées, de préférence la plus ancienne, par ladite valeur mesurée.

L'invention sera mieux comprise à l'aide des exemples de réalisation 20 suivants donnés conjointement avec les figures, qui représentent :

- la figure 1, un schéma d'un dispositif selon l'invention,
- les figures 2 et 3, des moyens mis en oeuvre dans l'invention.

Un exemple de réalisation de l'invention est donné sur la figure 1, où la référence 2 désigne un four électrique à arc dans lequel une masse 4 de 25 métal, par exemple de ferrailles, est amenée afin d'être fondu dans des conditions permettant d'atteindre des conditions de température et de composition prédéterminées, à l'aide de l'arc électrique créé entre les électrodes 6, 8 et 10 et le métal. Pour commencer la fusion du métal dans le four, on fait généralement appel à des brûleurs sophistiqués tels que 30 décrits par exemple dans US-A-4 622 007, US-A-5 714 113, US-A-5 954 855, US-A-5 858 302, US-A-5 788 921, US-A-5 843 368, US-A-5 904 895. Ces brûleurs oxycombustibles où air/oxygène/combustible permettent de faire fondre les ferrailles en début de cycle. Ensuite, lorsque le métal est fondu, il faut lui apporter de l'oxygène pour l'affiner. Eventuellement, un 35 combustible charbon en poudre ou analogue peut être amené pour apporter de l'énergie supplémentaire. L'oxygène est injecté à l'aide de ces

brûleurs, à l'aide d'un jet supersonique qui traverse la flamme et pénètre ainsi dans le bain liquide.

La référence 30 désigne une masse de métal en cours de fusion dans le four 2.

5       Après obtention d'une fusion dans les conditions voulues, le métal liquide est transféré dans une poche 18, et est par exemple amené à une station d'affinage d'une aciéries, où l'acier liquide est mis à nuance.

10      Des capteurs 12, 14, 16, ...permettent de mesurer ou d'enregistrer différents paramètres dans le four en cours de fonctionnement, par exemple les pressions dans le four, la température dans le four, la composition des fumées, les débits et/ou températures des fluides de refroidissement, par exemple, la voûte et les panneaux du four.

15      D'autres paramètres tels que le poids de matière métallique 4 apportée dans le four, ou les masses ou les quantités de pré-réduits (dans le cas du minerai de fer : minerai auquel on a enlevé de l'oxygène), et/ou le poids de chaux, et/ou le poids de dolomie, et/ou le poids de laitier solide peuvent être mesurés par des moyens appropriés (balances).

20      D'autres capteurs permettent d'enregistrer des données temporelles relatives aux arrêts ou aux dysfonctionnements du système.

25      Il est aussi possible d'enregistrer ou de mesurer des paramètres tels que la température du bain, et/ou la composition en carbone de l'acier, et/ou la quantité d'oxygène dissous, et/ou le poids d'acier dans le four, et/ou le nombre de coulées du four.

30      Tous ces capteurs sont reliés à un dispositif informatique 32 de traitement des données.

35      Selon l'invention les paramètres suivants, au moins, sont mesurés en cours de coulée : poids des matières métalliques enfournées, volume de gaz introduits et quantité d'énergie électrique apportée aux électrodes.

40      Les mesures sont effectuées pendant la coulée, en un « point intermédiaire », qui sera précisé ci-dessous.

45      Les valeurs de ces paramètres sont comparées, à l'aide du système informatique 32, aux valeurs des mêmes paramètres pour une coulée dite de référence, obtenue avec le même four, et dont on connaît en outre le résultat en termes de température et de composition du bain. La coulée de référence peut aussi être définie à partir de plusieurs coulées obtenues

avec le même four, et dont on connaît également les résultats (température et composition de chacune de ces coulées utilisées).

Une coulée de référence peut ainsi être obtenue à partir des  $X$  dernières coulées (par exemple :  $X$  compris entre 1 et 500, 5 préférentiellement  $5 < X < 50$ ), la valeur de chaque paramètre pour la coulée de référence résultant de la moyenne pondérée du même paramètre pour ces  $X$  dernières coulées, et la température et la composition de cette coulée de référence étant obtenue en moyennant ou en intégrant les températures et compositions finales de ces  $X$  dernières coulées. 10

Les pondérations, appliquées à chaque coulée entrant dans la référence peuvent être modifiées afin de donner un poids plus important aux coulées les plus récentes.

Par exemple, si la dernière coulée est la coulée  $n$ , et qu'on souhaite 15 faire la pondération sur  $p$  coulées ( $p$  entier naturel, par exemple  $p = 20$ ) on pourra appliquer le coefficient  $p$  [20] aux données de la coulée  $n$ ,  $p-1$  [19] aux données de la coulée  $(n-1)$ ,  $p-k$  aux données de la coulée  $n-k$  ( $k > 1$ ), et ainsi de suite jusqu'à la coulée  $n-p+1$  [n-19] à laquelle on appliquera le coefficient 1.

20 De même, un autre type de pondération peut être appliqué, par exemple un coefficient  $p$  [ $p$  entier naturel, par exemple : 4] pour les coulées  $n$  à  $n-p$  [n-4 dans l'exemple], puis  $p-1$  [exemple : 3] aux coulées  $n-(p+1)$  à  $n-(2p+1)$  [exemple : n-5 à n-9], puis  $p-k$  aux coulées  $n-(kp+1)$  à  $n-((k+1)p+k)$  jusque, par exemple, aux coulées  $n-(pxp-1)$  à  $n-(pxp+p-1)$  25 [exemple : (n-15) à (n-19)] auxquelles on appliquera le coefficient 1 pour  $k=p-1$ .

Le choix du type de pondération permet de rendre la coulée de référence plus ou moins sensible aux dernières coulées. Dans l'exemple ci-dessus, les coefficients pondérateurs ont été pris constants, ils peuvent 30 obéir à d'autres lois mathématiques en fonction des résultats recherchés, par exemple des lois polynomiales, ou linéaires, ou exponentielles...

Le choix du nombre de coulées introduites dans la référence dépend des variations constatées sur le procédé. Un procédé fluctuant considérera quelques coulées entrant dans la référence. A contrario, un 35 procédé stable acceptera un nombre de coulées plus important afin de lisser les effets d'une coulée ponctuelle.

A l'issue de la coulée en cours, la coulée de référence peut être recalibrée en supprimant la coulée la plus ancienne, et en intégrant la plus récente.

5 Ainsi la coulée de référence s'auto-adapte en continu et elle est dynamique

10 Au point intermédiaire ou de mesure, un calcul relatif à la coulée en cours est réalisé pour déterminer les écarts entre les données mesurées pour les paramètres sélectionnés et les données correspondantes de la coulée de référence, pour ces mêmes paramètres et au même point ou 15 instant intermédiaire au cours de la coulée.

15 Les écarts constatés en ce point ou en cet instant intermédiaire, entre la coulée en cours et la coulée de référence, sont convertis en énergie (fossile et/ou électrique) et/ou en oxygène, afin de ramener la température et la composition de la coulée à celle de la coulée de référence en ce même point intermédiaire.

Dans certains cas, l'aciériste effectue les mesures de température et composition au point intermédiaire. Dans ce cas, ces mesures peuvent être prises en compte dans la définition de la coulée intermédiaire.

20 Les quantités d'énergie et/ou d'oxygène permettant de compenser ces écarts par rapport à la coulée de référence sont ensuite ajoutés algébriquement aux quantité d'énergie et/ou d'oxygène apportées antérieurement à la coulée en cours, jusqu'au point intermédiaire.

Plus précisément, on peut procéder de la manière suivante :

- a - déterminer l'énergie  $e_1$  permettant d'atteindre la température de la coulée de référence au point intermédiaire,
- b - déterminer l'énergie  $e_2$  permettant de faire passer la coulée de référence du point intermédiaire au point final, et calculer  $e_1 + e_2$ ,
- c - déterminer la quantité d'oxygène à ajouter à la coulée en cours pour atteindre la composition en oxygène de la coulée de référence au point intermédiaire, puis la quantité à ajouter pour faire passer la coulée de référence du point intermédiaire au point final,
- d - déterminer la quantité de carbone à ajouter à la coulée en cours pour atteindre la composition en carbone de la coulée de référence au point intermédiaire, puis la quantité à ajouter pour

faire passer la coulée de référence du point intermédiaire au point final,

5            e - déterminer la quantité d'énergie produite par les quantités d'oxygène et de carbone ajoutées (étapes c et d ci-dessus), et ajouter algébriquement cette quantité résultante à la quantité d'énergie e1 + e2 déterminée en b.

Dans l'ensemble des calculs mis en œuvre par l'invention, le terme « ajouter » doit être compris au sens algébrique du terme, la coulée en cours pouvant par exemple être en surplus d'énergie par rapport à la température finale visée, auquel cas il faudra réduire la quantité d'électricité.

En outre, on tiendra évidemment compte des rendements mis en œuvre à chaque fois.

15        Un signal de correction 63 est alors émis en direction des moyens de chauffage (alimentation en énergie électrique du four), et/ou des moyens d'alimentation en oxygène et en carbone, afin de réaliser la température et les compositions visées.

20        De préférence les paramètres de la coulée sont enregistrés en 2 points :

- durant la coulée, au « point intermédiaire », correspondant par exemple à l'instant auquel 50% ou 80 % ou 85 % ou 90% ou 95% de l'énergie électrique de la coulée de référence est consommée,
- à la fin de la coulée ; peuvent en outre être enregistrés certains résultats réels obtenus, par exemple : la température, et/ou la quantité d'oxygène dissous, et/ou la composition du bain (analyse chimique), notamment sa composition en carbone, et/ou le poids d'acier, et/ou le nombre de coulées du four .

25        Les paramètres enregistrés en cours de coulée, au point intermédiaire, sont les paramètres indiqués ci-dessus (poids des matières métalliques enfournées, volumes de gaz introduits, quantité d'électricité apportée aux moyens de chauffage), avec éventuellement les paramètres supplémentaires suivants :

- les débits et températures des fluides de refroidissement pour, par exemple, la voûte et les panneaux du four,

- et/ou les arrêts, attentes (avec, éventuellement la situation du four durant ces attentes (position voûte, situation de l'acier...)) et dysfonctionnements,
- et/ou la pression dans le four,
- 5 • et/ou l'analyse des fumées.

On peut en outre ajouter les débits des différentes matières introduites dans le four : débits de matières solides (ferrailles, pré-réduits (mineraï de fer préalablement réduit), chaux, dolomie, laitier solide) et débits de fluides ou de gaz (oxygène, azote, carbone, gaz naturel...)

10 Un système 32 pour le traitement des mesures effectuées est représenté sur les figures 2 et 3.

Un tel système comporte un micro-ordinateur PC 38 auquel les données mesurées par les capteurs – 12 – 14 - 16 sont transmises via une liaison 61.

15 Plus précisément, le micro-ordinateur 38 comporte (figure 3) un microprocesseur 82, un ensemble de mémoires RAM 80 (pour le stockage de données, et notamment des données sur des coulées antérieures), une mémoire ROM 84 (pour le stockage d'instructions de programme).

20 Une carte d'acquisition de données 89 transforme les données analogiques fournies par les capteurs situés dans le four en données numériques et met ces données au format requis par le micro-ordinateur. Ces divers éléments sont reliés à un bus 88.

Des dispositifs périphériques (écran ou dispositif de visualisation 34, souris 40) permettent un dialogue interactif avec un utilisateur. En 25 particulier, les moyens de visualisation (écran) 34 permettent de fournir à un utilisateur, une indication visuelle relative aux paramètres mesurés, aux écarts entre les valeurs de ces paramètres et les valeurs de ces mêmes paramètres pour la coulée de référence, et aux corrections à apporter.

Une liaison 63 permet de commander la modification de certains 30 paramètres de fonctionnement du four, notamment les valeurs de correction de moyens d'alimentation en énergie du four et de moyens d'alimentation en oxygène.

Dans le micro-ordinateur 38, sont chargées les données ou les 35 instructions pour mettre en œuvre un traitement des données mesurées dans le four, et notamment pour sélectionner les pondérations utilisées dans la définition de la coulée de référence, pour effectuer le calcul des

paramètres de la coulée de référence, pour effectuer des comparaisons des paramètres mesurés sur la coulée en cours avec les valeurs des paramètres correspondants de la coulée de référence, et pour calculer les corrections à apporter aux apports en énergie et en oxygène.

5 Un opérateur peut, grâce à un menu interactif sur l'écran 34, choisir un type de pondération voulue, ou remplacer une pondération par une autre, ou visualiser des valeurs de paramètres intervenant dans la définition de la coulée de référence.

10 Les données ou instructions pour le traitement des données peuvent être transférées dans une zone mémoire du micro-ordinateur 38 à partir d'une disquette ou de tout autre support pouvant être lu par un micro-ordinateur ou un ordinateur (par exemple: disque dur, mémoire morte ROM, mémoire vive dynamique DRAM ou tout autre type de mémoire RAM, disque optique compact, élément de stockage magnétique ou 15 optique).

Un exemple va maintenant être donné, qui concerne des mesures faites sur un four de 100 tonnes.

20 Dans cet exemple, et afin de simplifier la compréhension, la coulée de référence est définie par la prise en compte de 3 coulées, le coefficient [3] étant appliqué à la dernière coulée (n-1), le coefficient [2] à la coulée (n-2), le coefficient [1] à la coulée (n-3), la coulée n étant en cours d'élaboration.

Les paramètres pris en compte sont :

- le poids ou la masse de 2 catégories de ferrailles, appelées C1 et C2,
- 25 • le poids ou la masse de chaux,
- les volumes de gaz introduits, sachant que sont utilisés 4 brûleurs de 300 m<sup>3</sup>/h de gaz naturel et de 600 m<sup>3</sup>/h d'oxygène ainsi qu'une lance de porte injectant 2000 Nm<sup>3</sup>/h d'oxygène et 30 kg/mn de carbone,
- la quantité d'électricité.

30

Sur les 3 dernières coulées, les données enregistrées sont les suivantes, rassemblées dans le tableau I ci-dessous.

	Coulée n-1	Coulée n-2	Coulée n-3	Référence	Delta coulée référence 90 – 100%	Coulé en cours	Delta Coulée Réf. / Coulée en cours à 90%
	90%	100%	90%	100%	90%	100%	90%
C1 (tonnes)	59	63	65	61.3		60	-1.3
C2 (tonnes)	46	45	43	45.2		46	+0.8
Chaux (tonnes)	3.2	3.2	3.1	3.4	3.1	3.2	0
GN B (Nm3)	141	141	152	156	149	147.2	0
O2 B (Nm3)	290	290	285	285	310	291.7	30
O2 L (Nm3)	1931	2126	2056	2312	1921	1966	1971
C L (Kg)	480	530	460	520	455	470	469.2
Elect (Mwh)	40	45	39	46	39	39	45.3
T° finale (°C)		1630		1627		1639	1630
O2 final (ppm)		655		728		765	698

Tableau I

Par rapport à la coulée de référence, la coulée en cours a les écarts suivants :

- ferrailles chargées : 1,3 tonnes en moins de la catégorie 1 (C1) et 0,8  
5 tonnes en plus de la catégorie 2 (C2)

Soient respectivement E1 et E2 les énergies nécessaires pour amener chaque tonne de ferraille C1 et C2 de la température de chargement à la température de la coulée de référence. L'écart des poids de ferrailles par rapport à la coulée de référence est donc converti en énergie équivalente,  
10 soit  $[-1.3 \times E1 + 0.8 \times E2]$ ,

---

- chaux : l'écart en poids en tonnes de la chaux par rapport à la coulée de référence est converti en énergie, en multipliant le poids de chaux par l'énergie nécessaire (Ecao) pour amener une tonne de chaux de la  
15 température de chargement à la température de la coulée de référence, soit  $[-0.1 \times Ecao]$ ,

- GN B : l'écart en volume de Gaz Naturel (GN) est converti en énergie, en multipliant le volume de GN par l'énergie de combustion par  
20 volume de gaz naturel (Egn), soit  $[-1.2 \times Egn]$

- O2 B (oxygène injecté par le brûleur): par rapport à la coulée de référence, l'écart en volume d'oxygène correspondant au volume de gaz naturel est converti en énergie, par le calcul ci-dessus, et le reste de la  
25 l'oxygène est considéré comme ayant réagi avec le CO pour faire de la post-combustion (et produire du CO2) ; on multiplie donc le volume d'oxygène restant par l'énergie de combustion (Eco2) du CO2, d'où  $([+3.3 - 1.2] * Eco2)$

Si, à l'inverse, le volume d'oxygène avait été inférieur au volume de  
30 gaz naturel, le gaz naturel aurait été considéré comme ayant réagi avec l'oxygène des entrées d'air dans le four.

- O2 L (oxygène injecté par la lance): l'écart en volume d'oxygène correspondant au volume d'oxygène sur la coulée de référence entre 90% et 100% est additionné à l'écart entre la coulée en cours et la coulée de  
35 référence à 90%, soit :  $221-25 = 196$ , avec  $25 = 1973 - 1946$ . Cet

oxygène est considéré comme ayant réagi avec le carbone pour former du CO (d'énergie de combustion Eco par unité de volume de CO), soit une consommation d'énergie de **[196 \* Eco]**.

5 - C L (carbone injecté par la lance): l'écart en poids de carbone correspondant au poids de C sur la coulée de référence entre 90% et 100% est additionné à l'écart entre la coulée en cours et la coulée de référence à 90%, soit :  $54.1 - 4.2 = 49.9$ , avec  $4.2 = 469.2 - 465$  et qui est considéré comme ayant réagi avec l'oxygène lance pour former du CO ;  
 10 l'énergie équivalente a déjà été calculée.

---

- Elect : l'écart en MWh correspondant à l'énergie sur la coulée de référence entre 90% et 100% est additionné à l'écart entre la coulée en cours et la coulée de référence à 90%, soit :  $5.8 - 0.5 = 5.3$ , **avec 0.5 = 39.5 - 39**

A l'issue de ces calculs, un bilan en énergie (Bilan\_Eng) est établi :

20 
$$\text{Bilan_Eng} = [-1.3 \times E1 + 0.8 \times E2] + [-0.1 \times Ecao] + [-1.2 \times Egn] \\ + [(+3.3 - 1.2) \times Eco2] + [196 \times Eco] + 5.3$$

Ce résultat (Bilan\_Eng) est alors additionné au delta énergie (D\_Eng) pour faire passer la coulée de référence de 90% à 100% ; on obtient donc:

25 
$$\text{TOTAL_Eng} = D_Eng + \text{Bilan_Eng} = 5.8 + \text{Bilan_Eng}$$

Ce chiffre est l'énergie à apporter au bain à partir du point « 90% », pour réussir la température souhaitée.

30 Pour la compréhension du calcul, les coefficients de rendement de transfert d'énergie n'ont volontairement pas été intégrés aux calculs. Mais le même calcul peut être refait en tenant compte de ces coefficients.

Un bilan similaire est réalisé pour déterminer les quantités d'oxygène et de carbone à injecter afin d'obtenir la composition souhaitée de la coulée.

On sait quelle quantité d'oxygène il faut apporter pour passer de 90% 5 à 100% de la coulée de référence, et on lui ajoute l'écart en oxygène entre la coulée en cours et la coulée de référence.

On procède de même pour le carbone.

Ces écarts en carbone et en oxygène ont à leur tour une influence sur l'énergie à apporter. L'énergie supplémentaire à apporter pour faire réagir 10 carbone et oxygène supplémentaires est ajoutée à l'énergie calculée qui est à apporter au bain à partir du point 90% pour réussir la valeur de température souhaitée.

On obtient donc bien, d'une part la quantité d'énergie nécessaire pour amener la coulée à la température voulue, et d'autre part les quantités 15 d'oxygène et de carbone nécessaires, ainsi que l'énergie nécessaire, pour atteindre la composition souhaitée.

## REVENDICATIONS

1. Procédé de production de métal liquide dans un four électrique, dans lequel on apporte de la matière métallique, de l'énergie électrique, 5 un gaz contenant de l'oxygène et éventuellement un combustible, dans le but de contrôler une température finale et/ou une composition finale du métal liquide, caractérisé en ce que :
  - on mesure en cours de coulée la valeur d'au moins les trois paramètres suivants : le poids de matière métallique apportée, le volume 10 apporté de gaz contenant de l'oxygène, la quantité d'énergie électrique apportée et éventuellement la quantité de combustible apportée ;
  - on compare ces valeurs mesurées aux valeurs de ces mêmes paramètres d'une coulée dite coulée de référence dont la température finale et la composition finale sont connues ;
- 15 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'un au moins des paramètres de la coulée dite de référence est obtenu à partir des valeurs de ce même paramètre mesuré sur au moins une coulée antérieure sur le même four.
- 20 3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que l'un au moins des paramètres de la coulée de référence est obtenu par calcul 25 d'une moyenne pondérée des valeurs de ce même paramètre déjà mesurées sur plusieurs coulées.
- 30 4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que la moyenne pondérée est une moyenne de valeurs mesurées sur un nombre de coulées compris entre 1 et 500, de préférence entre 5 et 50.
- 35 5. Procédé selon la revendication 3 ou 4, caractérisé en ce que les coulées utilisées pour établir la moyenne pondérée sont essentiellement parmi les dernières coulées réalisées dans le four.

6. Procédé selon l'une des revendications 3 à 5, caractérisé en ce que les poids de la pondération sont calculés selon une loi normale ou linéaire ou polynomiale.

5 7. Procédé selon l'une des revendications 3 à 6, caractérisé en ce que la moyenne résulte d'une pondération selon des poids croissants dans le temps.

10 8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que la valeur d'au moins un paramètre de la coulée de référence est recalculée après mesure de la valeur de ce paramètre pour la coulée de fusion métallique qui vient de s'achever, par remplacement d'une des valeurs déjà mesurées sur plusieurs coulées par ladite valeur mesurée.

15 9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que la valeur remplacée est la valeur mesurée la plus ancienne.

20 10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que l'on mesure au moins un des paramètres suivants : le débit et la température d'un fluide de refroidissement du four, et/ou les données temporelles d'arrêts du four et/ou les données temporelles d'attentes du four et/ou les données temporelles de dysfonctionnement, et/ou la pression dans le four, et/ou l'analyse des fumées, et/ou les débits des différentes matières introduites dans le four, les valeurs mesurées de ces paramètres étant également prises en compte dans la détermination des paramètres de la coulée de référence.

25 11. Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce qu'il comporte, outre une mesure en fin de coulée de l'un des paramètres, une mesure intermédiaire de ce paramètre.

30 12. Procédé selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que la mesure intermédiaire en cours de coulée est effectuée à un instant compris dans la plage temporelle limitée par les instants entre 35 30 % et 100 %, de préférence entre 80 % et 95 % ou encore plus

préférentiellement entre 90 % et 95 % de l'énergie électrique de la coulée de référence ont été consommées.

13. Procédé selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisé en 5 ce qu'il comporte la mesure, en fin de coulée, de la température et de la composition de la coulée.

14. Procédé selon la revendication 1 à 13, caractérisé en ce qu'il comporte la mesure, en fin de coulée, de la composition en carbone dans 10 la coulée, et/ou de l'oxygène dissous dans la coulée, et/ou du poids d'acier dans la coulée et/ou du nombre de coulées déjà réalisées dans le four.

15. Procédé selon l'une des revendications 1 à 14, caractérisé en 15 ce qu'il comporte une étape de conversion en énergie et/ou en oxygène des écarts détectés entre les paramètres de la coulée contrôlée et les paramètres de la coulée de référence.

16. Dispositif pour contrôler une coulée (30) de fusion métallique dans 20 un four électrique (2) dans lequel des matières métalliques (4) sont introduites, ainsi que des gaz dont l'un au moins contient de l'oxygène, caractérisé en ce qu'il comporte :

- des moyens (12, 14, 16) pour mesurer, en cours de coulée, la valeur d'au moins les trois paramètres suivants : le poids de matière 25 métallique enfournée, le volume des gaz introduits, la quantité d'électricité fournie au four, et éventuellement la quantité de combustible apportée ;

- des moyens (32, 82) pour comparer ces valeurs mesurées aux valeurs de ces mêmes paramètres d'une coulée dite coulée de référence, dont la température et la composition finale sont connues,

30 - des moyens (63) pour corriger l'alimentation de la coulée en énergie électrique et/ou en combustible et/ou en gaz contenant de l'oxygène, si les deux valeurs d'au moins un de ces paramètres diffèrent.

17. Dispositif selon la revendication 16, caractérisé en ce qu'il 35 comporte en outre des moyens (12, 14, 16) pour mesurer, en cours de coulée, la valeur d'au moins un des paramètres suivants : le débit et la

température d'un fluide de refroidissement du four, et/ou les données temporelles d'arrêts du four et/ou les données temporelles d'attentes du four et/ou les données temporelles de dysfonctionnements, et/ou la pression dans le four, et/ou l'analyse des fumées, et/ou les débits des 5 différentes matières introduites dans le four.

18. Dispositif selon la revendication 16 ou 17, caractérisé en ce qu'il comporte en outre des moyens (12, 14, 16) pour mesurer, en fin de coulée, la température du bain et/ou la composition en carbone dans 10 l'acier, et/ou l'oxygène dissous, et/ou le poids d'acier dans le bain et/ou le nombre de coulées déjà réalisées dans le four.

19. Dispositif selon l'une des revendications 16 à 18, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens (82) pour effectuer un calcul d'une moyenne 15 pondérée des valeurs d'au moins un paramètre déjà mesurées sur plusieurs coulées.

20. Dispositif selon la revendication 19, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens pour recalculer la valeur d'au moins un paramètre 20 d'une coulée de référence après mesure de la valeur de ce même paramètre pour la coulée de fusion métallique, par remplacement d'une des valeurs déjà mesurées sur plusieurs coulées par ladite valeur mesurée.

25 21. Utilisation du procédé selon l'une des revendications 1 à 15 ou du dispositif selon l'une des revendications 16 à 20 dans un four de fusion de métal.

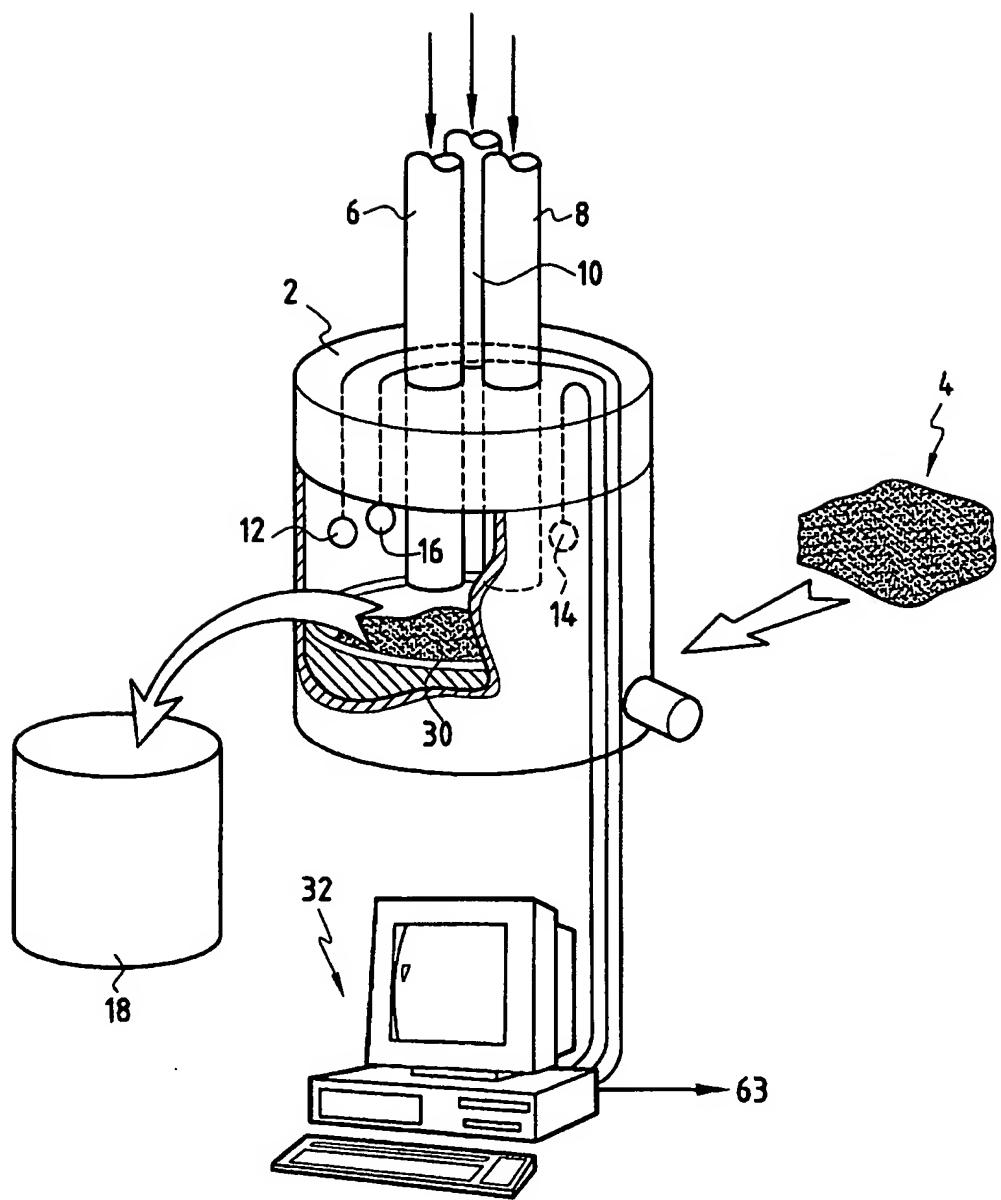
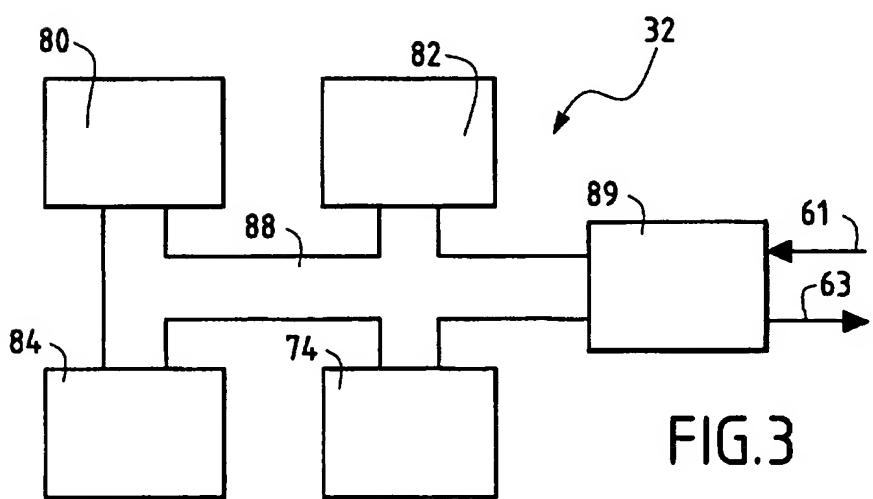
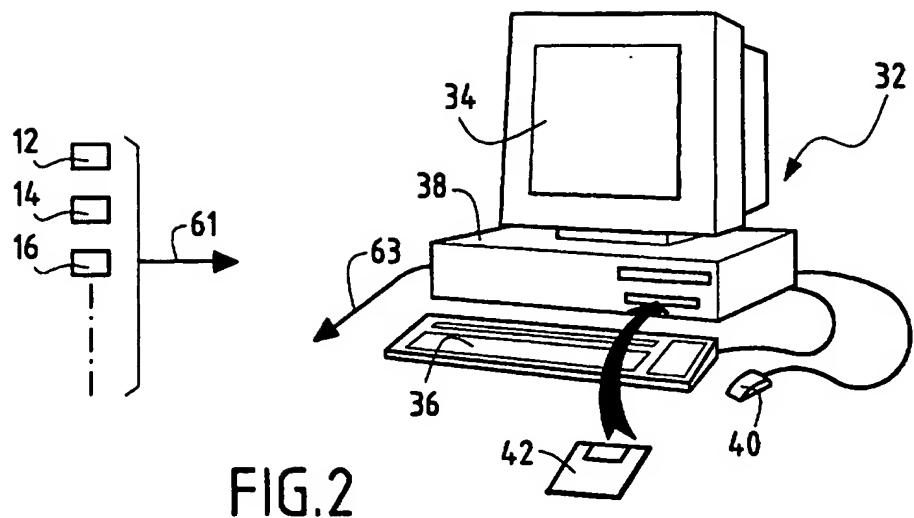


FIG.1



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

2838508

N° d'enregistrement  
nationalFA 618082  
FR 0204683établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

<b>DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS</b>		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	DE 198 01 295 A (SIEMENS AG, MÜNCHEN, DE) 22 juillet 1999 (1999-07-22) * colonne 1, ligne 37 - colonne 3, ligne 37 * * figure 1 *	16-21	F27B3/28 F27B3/08 C21C5/52
Y	—	1	
Y	EP 0 545 379 A (PRAXAIR TECHNOLOGY INC, DANBURY, US) 9 juin 1993 (1993-06-09) * page 1, ligne 51 - page 8, ligne 10 *	1	
A	US 2002/040623 A1 (VIERS DAVID ET AL, HAMPTON, US) 11 avril 2002 (2002-04-11) * the whole document *	1-21	
			<b>DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.Cl.7)</b>
			F27B C21C F27D
1			
		Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
		18 décembre 2002	Peis, S
<b>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</b> X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrête-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons S : membre de la même famille, document correspondant	
EPO FORM 1503 12.89 (P04C14)			

2838508

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0204683 FA 618082**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 18-12-2002.  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française.

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 19801295	A	22-07-1999	DE	19801295 A1	22-07-1999
EP 0545379	A	09-06-1993	US	5327357 A	05-07-1994
			BR	9204824 A	08-06-1993
			CA	2084396 A1	04-06-1993
			CN	1074244 A, B	14-07-1993
			DE	69209622 D1	09-05-1996
			DE	69209622 T2	02-10-1996
			EP	0545379 A1	09-06-1993
			ES	2085539 T3	01-06-1996
			KR	148273 B1	02-11-1998
			MX	9206989 A1	31-05-1994
			ZA	9209352 A	04-06-1993
US 2002040623	A1	11-04-2002	AU	4756701 A	03-10-2001
			WO	0172090 A1	27-09-2001

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**